

华南一次典型 MCC 过程的成因及天气分析

刘 峰 李 萍

(民航中南空中交通管理局气象中心,广州 510406)

提 要: 利用常规资料、FY2C 红外 TBB 等资料分析了 2006 年 5 月 6 日发生在华南地区的一次典型 MCC 过程,发现在具备充足的水汽和不稳定层结条件下,地面冷空气的辐合抬升作用和高低空急流的耦合是此次 MCC 形成和发展的关键,同时“喇叭口”地形以及下垫面温度日变化也起着重要作用。利用广州白云机场的多普勒雷达和地面自动站资料对 MCC 内部的飢线进行实时监测,得到低空风切变对机场的影响情况。

关键词: MCC 飢线 下击暴流 低空风切变

Mechanism Analysis of a Typical MCC Event in South China

Liu Feng Li Ping

(Meteorological Center, Central and Southern Regional Air Traffic Management Bureau of CAAC, Guangzhou 510406)

Abstract: Based on meteorological observational data and FY-2C TBB, a typical mesoscale convective complex in South China on May 6, 2006 was analyzed. It shows that the surface cold air movement and the couple of high and low level jets are the keys to the formation and development of MCC under the unstable and plentiful vapor conditions. The trumpet-shape landform and the temperature change of underlay also contribute to its evolution. A squall line in MCC was monitored by using terminal Doppler radar and AWOS, and the value of low-level wind shear was calculated to provide for Guangzhou Baiyun airport.

Key Words: MCC squall line downbust low-level wind shear

引 言

自从 Maddox^[1]给 MCC 下定义以来,对 MCC 的研究越来越广泛和深入。国内学者^[2-6]对我国发生的 MCC 进行分析,指出我

国南方地区春末夏初 MCC 的主要活动在夜间,一般在山地背风一侧斜坡上或坡底附近形成,并且是在特定有利的天气形势下出现的。中尺度对流系统中的对流单体造成的降水效率极大,同时也会产生龙卷、冰雹和下击暴流等强对流天气^[7]。

2006 年 5 月 6 日华南地区发生一次 MCC 过程,对广州白云机场的航班造成了一定的影响。文章通过常规资料、FY2C 红外 TBB 、广州白云机场多普勒雷达和自动站资料进行分析,以求得到此类天气影响下的航空气象保障的预报思路。

1 MCC 演变过程分析

图 1 为 2006 年 5 月 5 日 20 时至 7 日 0 时 $TBB < -32^{\circ}\text{C}$ 等值线图,图 1 显示,5 月 5 日 20 时开始,在广西南宁西北部已有中 β 对流云团生成;5 月 6 日 02 时,发展为长 300km 椭圆形的中 α 对流云团,其东部也有较大范围的对流云团发展;05 时,西部云团云顶温度继续降低,范围向东扩展;07 时,东西两个云团接合,发展成一个 $TBB < -32^{\circ}\text{C}$ 范围达 12 万平方公里的 MCS;10 时, MCS 达到第一次最强;之后开始减弱,一直到 13

点。虽然云团逐渐发散,但 $TBB < -32^{\circ}\text{C}$ 的范围始终不小于 10 万平方公里, $TBB < -52^{\circ}\text{C}$ 的面积也都在 5 万平方公里以上;15 时以后云团在南移过程中再次发展,到 16 时,加强成 $TBB < -52^{\circ}\text{C}$ 达 10 万平方公里的 MCS;到 19 时, MCS 再次达到最强, $TBB < -32^{\circ}\text{C}$ 范围达 20 多万平方公里。之后缓慢减弱,但直到 22 点, $TBB < -32^{\circ}\text{C}$ 范围仍在 20 万平方公里之上;23 时云团大部分入海,迅速减弱。两次 MCC 过程的物理特征见表 1。

2 MCC 发生和发展的条件

2.1 MCC 发生前的热力和水汽条件

2.1.1 MCC 发生前的环流背景

5 月 5 日 20 时(图略),850hPa 上长江以南地区受一条西南—东北向的切变线影响,

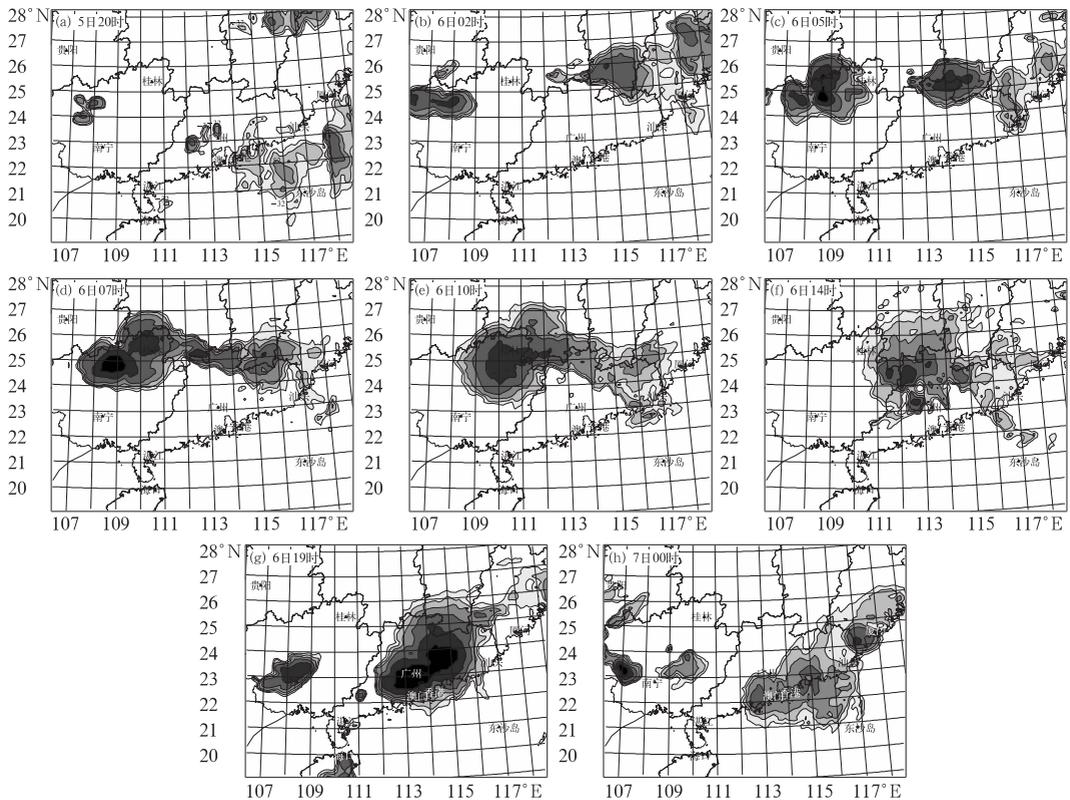


图 1 8 个时次 FY2C 红外云图 $TBB < -32^{\circ}\text{C}$ 等值线图

表 1 两次 MCC 过程物理特征

阶 段	起止时间和持续时间	TBB<-32℃范围	TBB<-52℃范围	偏心率
第一阶段	6 日 07—13 时, 持续 6 小时	大于 10×10 ⁴ km ²	大于 5×10 ⁴ km ²	大于 0.7
第二阶段	6 日 15—22 时, 持续 7 小时	大于 20×10 ⁴ km ²	大于 10×10 ⁴ km ²	大于 0.8

切变线南侧存在 8~16m·s⁻¹ 的西南风低空急流。500hPa 上, 不断有小槽东移带动北方弱冷空气南下, 588 线位于华南沿海。850hPa 上, 华南处于切变线南侧的暖舌中。初始中 β 对流云团发生在 850hPa 切变线西段的暖区、西南低空急流轴的左侧和 588 等高线的西北边缘。

2.1.2 MCC 发生前的层结和水汽条件

初始中 β 对流云团(图 2 中阴影处)发生在相当位温差为 -14K、比湿为 15g·kg⁻¹ 的高值中心附近, MCC 发展前不稳定层结条件和充足的水汽条件已经具备。

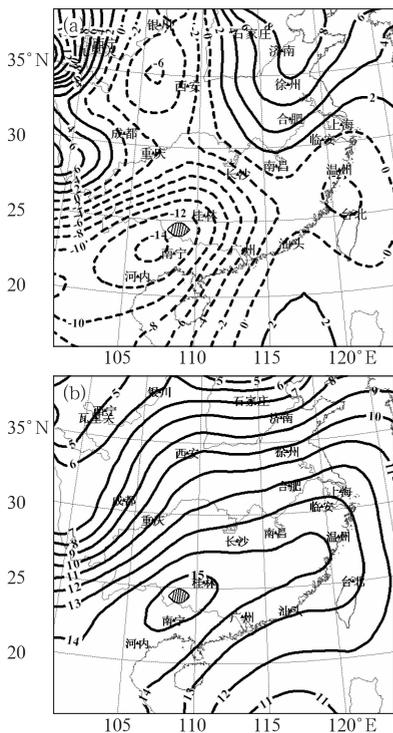


图 2 2006 年 5 月 5 日 20 时层结稳定度与水汽条件
(a)500hPa 与 850hPa 相当位温 θ_{se} 差(K); (b)850hPa 比湿($g \cdot kg^{-1}$)

2.2 发生发展机制

2.2.1 边界层辐合增强

一般来讲, 在某一地区的大尺度环境具有充足的静力不稳定能量条件时, 对流系统在何时、何地发生取决于是否具备触发条件^[8]。Wilson^[9]认为发展成对流风暴的初始对流大多发生在边界层辐合线或辐合带上, 并成为对流天气短时预报的主要依据。图 3 显示, 5 日 20 时 925hPa 上江南地区有明显的辐合线。6 日 08 时 25°N 以北地区转为偏东北风, 风速加大到 4~8m·s⁻¹, 辐合线明显南压和加强。辐合线西段有中尺度低涡生成发展, MCS(图 3 中阴影处)在低涡附近东传和加强。

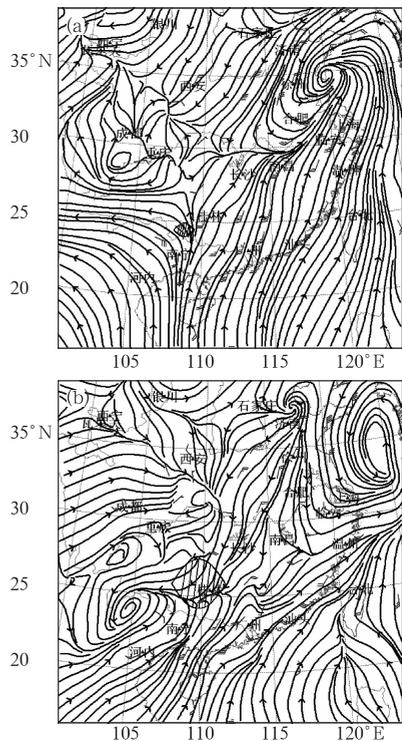


图 3 2006 年 5 月 5 日 20 时(a)和 6 日 08 时(b)925hPa 流场

2.2.2 高低空急流耦合

陶诗言^[10]明确指出,大暴雨的发生发展与低空流场的辐合、垂直运动的急速发展有关。在有高低空急流耦合的情况下,产生的次级环流上升支触发潜在不稳定能量的释放,有利强对流的发生和发展^[11]。

图 4 显示,5 日 20 时,初始对流云团(图 4 中阴影处)位于低空急流的左侧和高空急流出口区的右侧。低空急流进行暖湿空气输送,而高空急流则造成干冷空气平流,从而加强了大气潜在不稳定。并且受由高、低空急流形成的间接次级环流的下沉气流控制,起到贮存不稳定能量盖子的作用。到 6 日 08 时,高空急流中心明显东移。产生初始对流云团的区域由位于高空急流出口处的右侧转为位于高空急流入口区的右侧。这样,近地面层的辐合抬升与高空急流中心入口区右侧的高空辐散相重合,便形成了深厚的上升气流,从而释放低层暖湿空气中不稳定能量,造

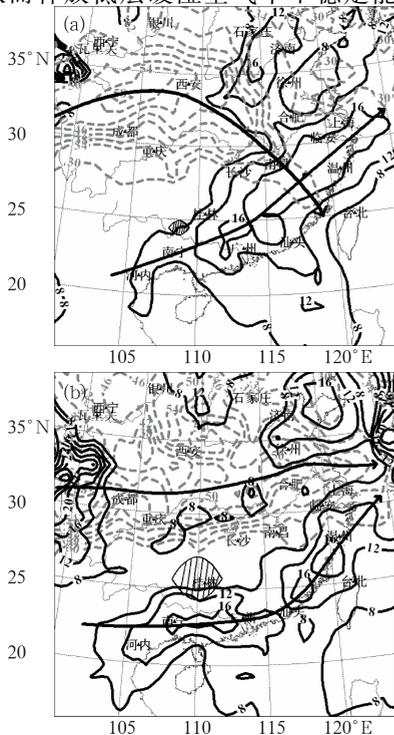


图 4 2006 年 5 月 5 日 20 时(a)和 6 日 08 时(b)高空(200hPa)和低空(850hPa)急流配置

成强对流爆发。

从图 4 中也可以看到,MCC 距离高空急流的位置较远,而距离低空急流接近。说明此次过程中低空急流的作用要大于高空急流的作用,即低空急流水汽输送和抬升作用对 MCC 的形成和发展起了重要作用。

2.2.3 地形辐合与下垫面热力作用

初始对流云团在夜间形成于云贵高原的背风一侧,原因是西南气流在向北输送的时候受高原山体的抬升和阻挡加上边界层的辐合作用。夜间的云顶辐射冷却作用使得云层内的层结变得更加不稳定,也促使了 MCC 的发展。

此次 MCC 的发展还与其途经有利的地形条件以及经历的下垫面温度日变化有关。在第一次达到最强时,MCC 进入桂林与南宁之间的一个海拔高度 100m 到 400m 之间开口向南“喇叭口”地区。西南气流进入“喇叭口”产生的辐合抬升作用,促进了 MCC 的发展。

MCC 再次加强与午后强烈的热力对流作用有关,并且进入开口向南的珠江入海口的“喇叭口”地形同样起着加强的作用。MCC 从珠江口进入广东南部海面后,下垫面温度的显著降低加速了它的消亡。

3 MCC 中的飊线天气对机场的影响

3.1 机场雷达资料分析

雷达图上(图略),MCC 向东南移动的过程中,其东南部的对流单体非常活跃,并逐渐弥合和加强。6 日 18 时左右形成长约 400km、宽约 40km、强度 30~50dBz 的飊线。图 5 中 VAP 反演风场显示,机场上空有一条由飊后西北风与飊前西南偏西风形成的辐合线。机场上方约 640m 处存在风速约 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、风向为偏西北风的急流。由于急流的作用,飊线的中段移速大于两端,呈弓状。

3.2 飊中系统分析

图 6 揭示了飊线系统地面的结构。飊线

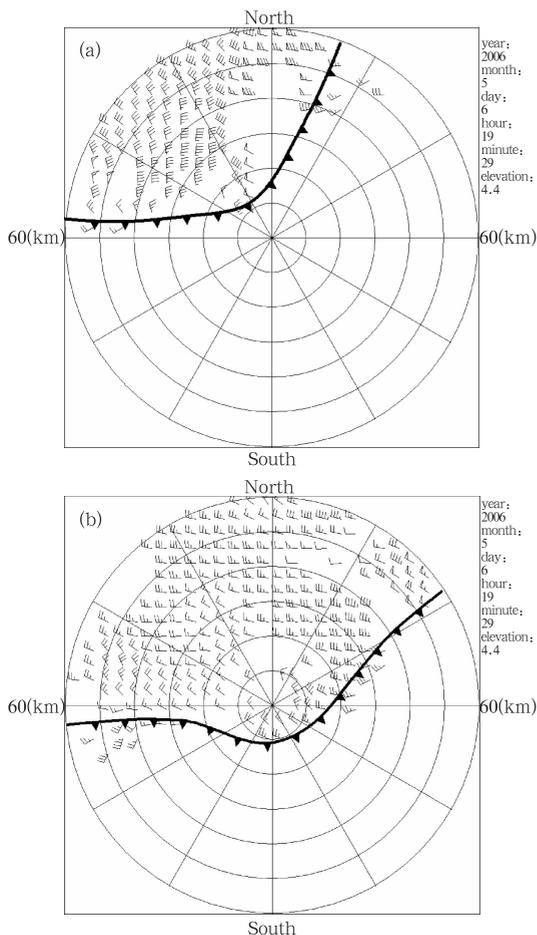


图 5 机场多普勒雷达 VAP 反演风场
(a) 5 月 6 日 19:29 时 60kmPPI;
(b) 5 月 6 日 20:16 时 60kmPPI

位于强烈辐合的辐合线上, 长度约为 500km。气压场表现为, 在广州的西北侧, 即飊线的后方出现中高压脊, 尺度约 100km。此中高压脊与辐散区位置一致, 说明这个部位是降水造成的下沉气流在地面的反映。

图 7 显示飊线过境广州白云机场时, 在 19:26 时到 20:20 时之间, 地面风速加大到 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 最大时为 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 风向在 $150^\circ\sim 60^\circ$ 之间变化; 场面气压由 1007hPa 升高到 1010hPa, 温度和露点则分别下降了 5°C 和 3°C , 相对湿度则由 75% 上升到 88%。还能够分析出飊前中低压、中高压以及尾流低压等飊中系统影响机场的时间和强度。图中显

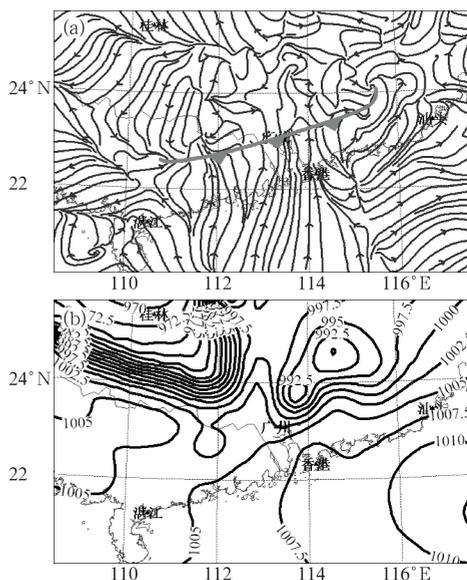


图 6 2006 年 5 月 6 日 20 时广东省地面自动站观测到的飊中系统
(a) 地面流线; (b) 地面气压场

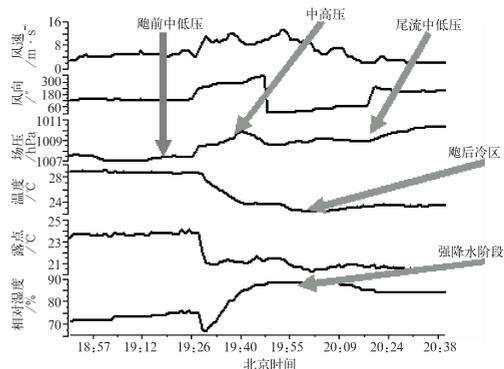


图 7 2006 年 5 月 6 日广州白云机场 02L 号自动化观测系统探测到飊线过境时气象要素变化

示 19:40 时飊后的升压、降温和相对湿度的升高几乎同时发生, 此时是强降水的开始时间。而机场自动化观测系统观测到的降水开始时间正是 19:40 时。

3.3 下击暴流和低空风切变

Fujita 等人^[12]把在地面上或地面附近形成的风速达到 $17.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或以上的灾害性风的向外暴发的强下沉气流称为下击暴流。

大多数伴有强下击暴流的回波,具有钩状或弓状的特征,强下击暴流通常发生在钩的周围和弓状回波的前沿。此次飏线天气造成广州白云机场从 19:22 时到 20:12 时有雷暴,地面最大平均风速 $16\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,阵风达到 $19\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。综合雷达弓状回波、中高压系统,判断机场出现了下击暴流。根据气压的变化,可以判断下击暴流在 19:40 时左右开始影响广州白云机场,到 19:55 时左右停止,约持续 15 分钟。

飞机在飞越飏线时会遭遇强烈的风切变。根据 VAP 反演风场,飏后的低空急流轴风速为 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、风向 320° ,飏前风速为 $8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、风向 240° ,沿飏线风速改变 $16\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。如果根据图 5 上 VAP 风的分辨率是 4km ,可得到切变值是 0.004s^{-1} 。

利用机场跑道的风资料与跑道上空的 VAP 反演风场计算水平风的垂直切变值。19:40 时跑道风向为 290° 、 $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,跑道上空高度 640m 处风向 320° 、风速 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,而机场跑道走向为 16° 。计算得到沿跑道方向水平风的垂直改变值是 $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,两层之间的垂直切变值是 0.016s^{-1} 。

4 总 结

(1) 此次 MCC 过程形成和发展的天气形势、地点和时间与国内学者总结的情况基本一致,因而是一次典型的 MCC 过程。不同之处是发生了午后再次加强的情况。

(2) 地面冷空气活动使得边界层辐合抬升作用加强,以及高低空急流的耦合是此次 MCC 形成和发展的关键。

(3) 此次 MCC 形成和发展以及再次加强与“喇叭口”地形以及下垫面温度日变化有关。

(4) 通过多普勒雷达和地面自动站监测飏线,分析飏中系统得到下击暴流对机场影响的时间。

(5) 利用多普勒雷达反演风场和地面自动站资料计算风切变值,为发布机场风切变警报提供依据。

参考文献

- [1] Maddox R A. Mesoscale convective complexes[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1980, 61: 1374-1387.
- [2] 方宗义. 夏季长江流域中尺度云团研究[J]. 大气科学进展, 1986, 2(3): 334-340.
- [3] 项续康, 江吉喜. 我国南方地区的中尺度对流复合体[J]. 应用气象学报, 1995, 6(11): 9-17.
- [4] 伍星赞, 纪英惠. 华南地区 MCC 云团特征和成因分析[J]. 气象, 1996, 22(4): 32-36.
- [5] 柳林, 张国胜. 鲁西北中尺度对流复合体环境场特征[J]. 气象, 2000, 26(11): 40-44.
- [6] 张腾飞, 鲁亚斌, 普贵明. 低涡切变影响下云南强降水的中尺度特征分析[J]. 气象, 2003, 29(12): 29-33.
- [7] 中国气象局科教司. 省地气象台短期预报岗位培训教材[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 150-153.
- [8] 张春喜, 朱佩君, 郑永光, 等. 一次春季暴雨不稳定条件和对流触发机制的数值模拟研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005, 41(5): 746.
- [9] Wilson, J W, Schreiber W E. Initiation of Convective Storms at Radar Observed Boundary-Layer Convergence Lines[J]. Mon Wea Rev, 1986, 114(2): 516-536.
- [10] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 气象出版社, 1980: 225.
- [11] 寿绍文, 励申申, 姚秀萍. 中尺度气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 238.
- [12] 胡明宝, 高太长, 汤达章. 多普勒天气雷达资料分析和应用[M]. 北京: 解放军出版社, 2000: 205-208, 221-222.